

P2P ネットワークにおける位置に関連した情報の 管理・検索手法の提案と評価

松浦知史[†] 新井イスマイル[†] 中村豊^{††} 藤川和利^{††} 砂原秀樹^{††}

E-mail: {sato-mat, ismail-a}@is.naist.jp, {yutaka-n, fujikawa}@itc.naist.jp, suna@wide.ad.jp

[†] 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター

概要

移動可能な通信端末の発展により位置情報サービスへの要求が高まっている。また多くの通信端末がいたるところに存在しており、端末の持つ情報を位置に基づいて収集・加工することおよび端末が位置に基づいて情報を自ら流通させることが要求されている。そこで本論文では、P2P ネットワーク上において、位置に関連した情報の管理・検索手法を提案する。2次元座標を1次元の円周上に対応させることによって情報管理や検索の手法が単純化され、計算量 $O(\log N)$ で情報の検索が可能である。また一意な検索が可能のため情報の有無を確認でき、加えてフラッシングを用いる他の P2P システムと比べてネットワークに対する負荷が少ない。シミュレータを作成し提案システムを評価した結果、既存の DHT を利用したアルゴリズムと同程度の検索速度を示しながら、位置に基づく情報の管理・検索が可能であることを検証した。

1 はじめに

無線技術の向上や携帯電話、PHS の普及を受け、人や自動車などの移動ノード（以下、通信可能な計算機端末をノードと呼ぶ）は時間や場所などの制約を受けずにネットワークに接続可能である。移動端末の発展を受け、例えば周辺の天気や目的地の渋滞情報のように位置に依存するサービスへの要求が高まっている。また PDA などの小型端末や自動車に搭載される車載器などの廉価化が進み、移動ノード数に関しても大幅な増加が予想される [2]。

このような状況で統計情報のサービスのあり方も見直されている。日本自動車研究所 (JARI : Japan Automobile Research Institute) [1] の試みでは、自動車に取り付けたワイパーセンサのデータ等をインターネットを利用してサーバに収集することにより詳細な降雨情報などの生成が可能となっている。

しかし、増加するノードに対して全てのサービスをサーバ・クライアントモデルで実現すると、サーバに対してネットワーク帯域や記憶媒体などの負荷がさらに集中することが予想される。このような膨大

な数のノードが生成するトラフィックやデータを扱うためには、情報を分散管理する機構が必要となる。

情報を分散管理する手法の一つとして Peer to Peer (以下、P2P) ネットワークに注目が集まっている。P2P ネットワークでは各ノードが情報やデータを管理し、対等な立場でノード間が直接通信することによって負荷分散を実現している。またネットワーク帯域の負荷や計算処理の負荷が局所的にかかる集中型データベースや集中型インデックスを用いることなしに、情報の分散管理が可能である。しかし既存の P2P ネットワークは直接位置情報を扱うものは少ない。

位置情報を考慮した P2P ネットワークとしては LL-net [6] がある。LL-net では物理的な空間をあらかじめ小さなエリアに分割し、そのエリアに振った ID をもとに位置情報に基づいたオーバーレイネットワークを構築する。LL-net はノードの検索を主眼にしているため、位置に基づいた情報の蓄積はできない。

ネットワークゲーム内の各属性を P2P ネットワークで分散管理させる手法として Mercury [3] がある。Mercury ではゲーム空間における各プレイヤーの座

標 (x, y 座標) やプレイヤーの状態を表す属性値などを固定長の範囲に分割し、連続する一連の属性値を参加ノードに割り当て管理する。参加ノードは円周上に並べられ、属性値の種類の数だけ円周が形成される。Mercury は publish/subscribe モデル [5] を用いて情報の伝達を行う。すなわち、各ノードはあらかじめ情報を取得したい範囲を通知しておき、次に属性値の変化を起こすイベントが発生すると、その属性値の範囲を担当するノードがイベントの通知を希望しているノードに対して通知を行う。また LL-net がノードの発見に主眼をおいているのと同様に、Mercury ではゲーム空間内のプレイヤーの発見に主眼を置いている。そのため位置に基づく情報の蓄積が困難である。

そこで本研究では、ノードの存在する場所に関わらず、位置に基づいた情報の管理・検索が可能な手法を提案する。2次元座標を1次元の円周上に対応付けることにより、情報の管理・検索手法が単純化され、 $O(\log N)$ の計算量で検索可能である。他のフラッシングを用いる P2P ネットワーク構築手法と比べて、一意な検索が可能であり検索クエリーの数を抑えることができ、情報の有無も確認できる。提案手法は既存の分散ハッシュテーブル (DHT) を用いた手法と同程度の検索速度を実現し、また特定の位置に基づいた情報の検索が可能となっている。

2 P2P ネットワークにおける位置に関連した情報の管理・検索

2.1 前提条件

提案する P2P ネットワークに参加する全てのノードは以下の前提条件を満たすものとする。

- 自分の位置情報を取得する能力を持つ (GPS 機器を備えるなど)
- インターネットを介して通信が可能である
- データを送受信すること、およびデータの検索や収集・加工が可能である

現在、携帯電話や PDA の多くはインターネットに接続する機能を既に持っており [2], 車載器においても一部のものはインターネットの接続性を有する。また GPS の小型化、廉価化が進み多くの携帯電話や車載器に搭載されており、GPS が搭載されていない端末に関しても専用の GPS 機器を接続可能となって

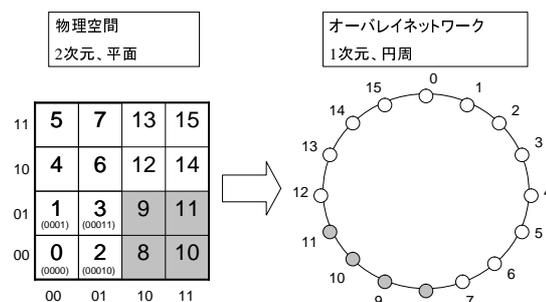


図1 2次元から1次元へのマッピング

いる。今後これらの傾向はさらに強まり、上記で挙げた前提条件を有するノードは増加していくと予想される。

2.2 2次元から1次元へのマッピング

提案手法では2次元座標から1次元の円周上への対応付けを行っている。1次元の ID を利用することで $O(\log N)$ の高速な検索が可能となり、2次元上で検索するよりも検索効率が高い。また情報の管理・検索が単純化されるという利点もある。

ノードは自分の位置情報 (2次元座標) から1次元の ID を生成する。図1に2次元座標から1次元の円周への対応付けを図示する。網掛けの部分 (ID:8,9,10,11) を設け、対応箇所を示している。1次元の ID を元にノードはオーバレイネットワークに参加を行ったり、情報の管理・検索に利用する。1次元の ID は2次元座標の各桁の値を交互に入れ替えて生成する。例えば取得した位置情報が (123, 789) だとすると生成される1次元の ID は 172839 となる。各桁を交互に入れ替えて生成した ID には下記のような特徴がある。

- ID を1ずつ増加させると対応する2次元座標は正方形を形作る
- ID を1ずつ増加し続けると、小さい正方形から始まり大きな正方形を作る

このような特徴は領域検索時に領域の分割を抑え、検索速度を向上させるために有効に働く。

2.3 検索アルゴリズム

提案システムでは1次元の ID を基に該当するノードを検索し、情報の管理や取得を実現している。検索手法としてはスキップリストのアルゴリズムを利

表 1 動作環境

CPU	Pentium4 2.4GHz
Memory	1GB
OS	WindowsXP SP2
開発言語	Java 2 SDK ver1.4.2
ノード数	10 - 2560
ID 空間 (領域)	2^{24} (4096 × 4096)
ノードの移動アルゴリズム	ランダムウォーク

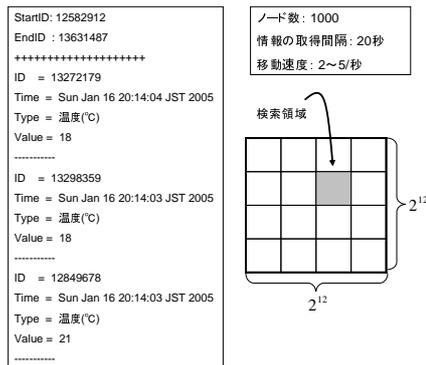


図 2 領域検索の検索結果例

用しており, Chord[4] と似た手法を採っている. 円状に配置された ID に対して各ノードは双方向のスキップリストを作成する. このことにより, $O(\log N)$ の検索が可能となっている.

3 シミュレーション評価

3.1 動作環境

表 1 に動作環境とシミュレータの環境設定を示す. シミュレータの利用は提案システムの動作確認およびアルゴリズムの特性を測定することを目的としている. そのためにノード数を変化させて検索速度やノード間で交換されるメッセージの数を測定した. 計算機の能力のため最大ノード数は 2560 とした. 提案システムの特性を算出するには十分な数であった. 領域については 4096×4096 をとり ID として 2^{24} の空間を割り当てた. これはノード数に対して十分に大きな値であり, ID の衝突などが生じない値となっている.

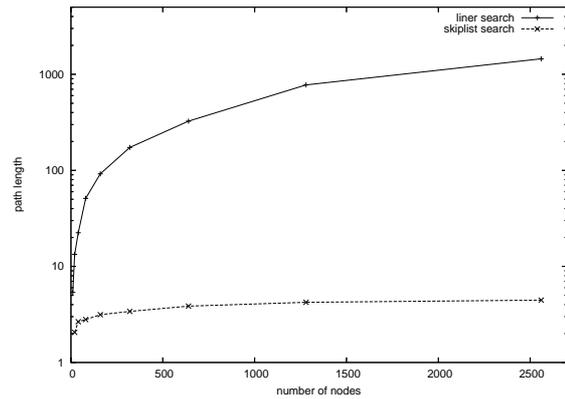


図 3 ノード数と検索ホップ数の関係

3.2 動作例

ここではノードが移動しながら一定の時間間隔で温度センサによって温度情報を取得し, その情報を位置に基づいて P2P ネットワーク上で流通させるというシナリオを設定した. 図 2 に実際の検索結果例を示す. 図中で網掛けをしてある領域を検索した結果, 領域内の情報を持ついくつかのノードから温度情報を取得できた. 図 2 の検索結果を見ると全ての ID は StartKeyID と EndKeyID の間にあることが分かる. これは検索対象としている領域内の情報が正確に取得できていることを示している. 実際には取得した温度情報を用いて特定の場所の平均気温を算出したり, 回りの温度から突出した値を見つけることで車載器などの異常や火災などの発見に利用できる可能性があると考えられる.

3.3 検索速度

ランダムにノードを選び任意の領域を検索し情報を得るという条件の元で, ノードの増加に伴い検索ホップ数がどのように変化するかを計測した. ノード数の増加に対する検索ホップ数の推移は図 3 のようになっている. 右回りの線形検索ではノードの増加に伴い検索ホップ数が線形に増加している. 一方でスキップリストを用いて領域検索した場合は $O(\log N)$ の検索が可能となっており, ノード数が増加しても高速な検索が維持される. 提案システムは Gnutella や Freenet などのフラディングを利用するアルゴリズムよりも高速な検索が可能であり, 加えて目的とする情報が無い場合は情報が存在しないことが確認できる.

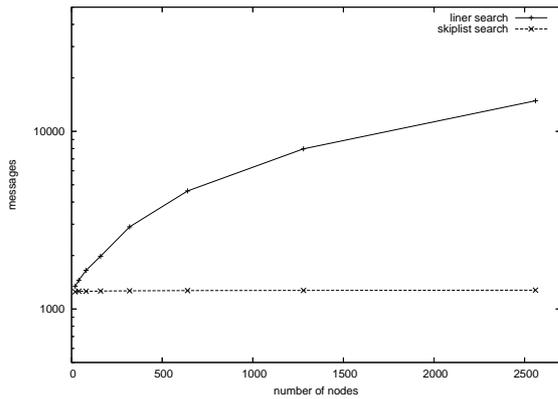


図4 ノード数とノード一つあたりが処理するメッセージ数の関係

3.4 ノード間でのメッセージ交換量

ノード間でやり取りされるメッセージの量を測定し、ノード一つあたりが処理するメッセージ数を算出した。メッセージとはノードの生存を定期的を確認するために交換されるメッセージとノードが参加するためであったり離脱したノードが再び参加するために交換されるメッセージの2種類から成り立っている。図4にシミュレーション結果を示す。線形検索を用いている手法はノードの増加に伴いメッセージ交換量が増加している。生存確認をするためのメッセージ交換量はノード一つあたり一定であるが、新規参加ノードを参加させるための処理がオーバーレイネットワークを構成するノード数の増加に伴って線形に増加するためである。一方でスキップリストを利用した場合は新規参加ノードを参加させる処理が少ない。なぜなら、新規参加ノードのNodeIDを担当しているノードを $O(\log N)$ で検索できるためである。このために全体のノード数が増えても一つのノードあたりにかかるメッセージ交換量はほとんど増加していない。サーバクライアント型のサービスではノード数が増えるにつれて線形にメッセージ交換量が増加する。このためにサーバクライアント型に比べて優位性があるといえる。

4 おわりに

位置情報サービスへの要求の高まりや移動ノードの増加を受けて、位置に関連した情報の管理・検索手法を提案した。本提案のモデルを利用することにより、位置に基づいた情報検索と位置に基づいた情報

の蓄積が可能となる。

シミュレーションの結果から、提案システムは既存のDHTと同等の計算量で検索が可能である事が明らかとなった。また検索にかかる計算量やノード一つ当たりの負荷が全体のノード数 N に対して $\log N$ であることから、ノード数の増加に強いシステムであることが明らかとなった。

今後の課題としては実環境に近いエミュレート環境を構築したり、実機を使った実環境での測定を行う必要がある。また実環境に適応するためにネットワークや計算機資源を加味し、システムを改良する。

参考文献

- [1] 日本自動車研究所 (JARI: japan automobile research institute). <http://www.jari.or.jp/>
- [2] 平成16年版 情報通信白書.
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h16/index.html>
- [3] Ashwin R. Bharambe, Sanjay Rao, and Srinivasan Seshan. Mercury: A scalable publish-subscribe system for internet games. In *Proc. of 1st Workshop on Network and System Support for Games(NetGames2002)*, 2002.
- [4] S. Ion, M. Robert, K. David, K. Frans M, and B. Hari. Chord: A scalable peer-to-peer lockup service for internet applications. In *ACM of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 149–160, 6 2001.
- [5] A. S. Tanenbaum and M. V. Steen, editors. *Distributed System*. Prentice-Hall, 2002.
- [6] 金子雄, 福村真哉, 春本要, 下條真司, 西尾章治郎. モバイル環境における端末の位置情報に基づく p2p ネットワークの提案と評価. 電子情報通信学会第15回データ工学ワークショップ (DEWS2004) 論文集, March 2004.